

스트레스 적외선 체열 촬영을 통한 정상인의 교감신경계 혈관운동성 반응

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

박은숙 · 박창일 · 김은주 · 조성래 · 안소영

Sympathetic Vasomotor Response with Stress Digital Infrared Thermal Imaging in Normal Healthy Subjects

Eun Sook Park, M.D., Chang-Il Park, M.D., Eun Joo Kim, M.D., Sung-Rae Cho, M.D. and So Young Ahn, M.D.

Department and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine

Objective: To investigate sympathetic vasomotor response of the hands to cold and warm stress on the foot with Digital Infrared Thermal Imaging (DITI) in normal healthy subjects.

Method: Fifteen healthy subjects were participated in this study. The DITI was taken during immersing right foot in cold and warm water bath. The thermal images of the dorsal hands were captured at the starting point and then every 5-minute up to 30 minutes. The ratio of temperature between the ending point (30T) and the starting point (0T) was calculated.

Results: In cold stress test, the mean 30T/0T ratio were $92.8 \pm 2.4\%$ and $92.2 \pm 2.7\%$ in the right and left hands, respectively. There were no statistically significant side to

side differences. The temperature of the each hand was significantly lowered at every 5 minutes interval ($p < 0.05$). In warm stress test, the mean 30T/0T ratio were $104.5 \pm 1.8\%$ and $104.4 \pm 2.0\%$ in the right and left hands, respectively. The temperature of each hand was significantly increased at the first 5 minutes ($p < 0.05$), and tended to increase until 10 minutes. After then, the temperature was not significantly changed until 30 minutes.

Conclusion: We could identify the normal sympathetic vasomotor response to the cold and warm stress with DITI. It might be served as an useful baseline data for the identification of sympathetic dysfunction. (*J Korean Acad Rehab Med* 2002; 26: 223-227)

Key Words: Digital infrared thermal imaging (DITI), Stress, Sympathetic, Vasomotor response

서 론

컴퓨터 적외선 체열 촬영은 교감신경계 혈관운동 활동도에 의해 조절되는 체표면의 온도를 측정하는 검사로서 혈액순환과 직접적인 관련이 있어 말초 혈액순환 장애 및 자율신경계 질환 등을 진단하는 데 보조적인 검사로 널리 이용되고 있다.^{3,21-24} 그러나 이와 같이 측정된 체표면의 온도는 반복 측정하는 경우 검사 시간대에 따라 차이를 보이게 되므로, 각 체표면의 절대 온도값보다는 비교적 안정된 값을 보이는 좌우측 체표면의 온도차이가 주된 진단기준으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 좌우측 온도차이의 기준이 0.3°C 에서 1.0°C 정도로 연구마다 상당한 차이를 보이며,^{1,2,10,11,24} 또한 양측성 병변이 있을 경우에는 양측 온도 차이만으로는 병변을 진단할 수 없는 단점이 있다.³ 따라서 이러한 문제점을 개선할 수 있으면서 교감신경성 혈관운동

의 활동도를 측정할 수 있는 냉(cold) 또는 온(warm) 스트레스 적외선 체열 촬영과 같은 검사 방법이 대두되기 시작하였다.

냉 스트레스 자극을 이용한 연구를 살펴보면, 찬물에 몸을 담근 경우 혈중 노르에피네프린 농도가 5~10배 정도 증가된다고 하였다.^{6,13,25} 이와 같이 신체가 차가운 외부 환경에 노출 시 교감신경의 활동도가 증가되는 것으로 알려져 있으며, 자율신경계 기능부전이 있을 때 스트레스 적외선 체열 촬영에서 비정상 반응이 나올 가능성이 매우 높을 것으로 생각된다.²² 또한 차가운 외부 환경뿐만 아니라 더운 환경에 노출 시 체표면의 온도 변화도 자율신경계 활동도의 반응을 평가하는 데 유용할 것으로 생각된다. 이에 본 연구에서는 정상인을 대상으로 냉 스트레스와 온 스트레스 자극하에 컴퓨터 적외선 체열 촬영을 통해 체표면의 온도 변화를 측정함으로써 교감신경계 혈관운동성 반응을 알아보고, 이에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

접수일: 2001년 9월 3일, 게재승인일: 2002년 3월 23일

교신저자: 김은주, 서울시 서대문구 신촌동 134

☎ 120-752, 연세대학교 의과대학 재활의학교실

Tel: 02-361-7772, Fax: 02-363-2795

E-mail: silver200@orgio.net

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

연구 대상으로 자율신경계 질환, 말초혈관 질환, 말초신경 병변, 근골격계 질환, 심혈관계 질환 및 피부 질환 등의 병력이 없고, 통증이 없으며 감각 저하나 근력 약화 등의 신경학적 이상 소견이 없는 정상 성인 15명을 대상으로 하였다. 대상자의 성별 분포는 남자가 11명, 여자가 4명이었으며, 연령 분포는 20세부터 46세까지로 평균 연령은 31세이었다.

2) 연구 방법

적외선 체열 촬영 검사는 DOREX 적외선 체열 촬영기(DOREX Inc., U.S.A.)를 이용하였으며, 촬영을 시행하는 방은 외부로부터 빛과 열이 차단되고, 실내 온도는 20°C를 유지하였다. 검사 시행 전 2시간 이내에는 금연을 피하고 검사 12시간 전에는 음주를 하지 않도록 하였다. 검사 당일에는 피부 크림, 향수 및 로션 등을 바르지 않도록 하였으며 너무 꽉 조이지 않는 옷을 입도록 하였다. 모든 대상자에서 약 15분간 실내 온도에 적응하도록 한 후 촬영을 시행하였다. 물이 체표면에서 기화되어 발생할 수 있는 체온의 변화를 방지하기 위하여 찬물 또는 더운물에 발을 담근 후 양측 손등에서의 온도 변화를 측정하였다.

냉 스트레스 검사는 12.0±1.4°C의 물이 담긴 욕조에 우측 발을 발목관절 부위까지 담그고 5분 간격으로 총 30분간 양측 손등 부위를 촬영하여 체표 온도를 측정하였다. 검사하는 양측 손등의 위치는 심장과 비슷한 높이로 설정하였다. 물 2리터가 들어 있는 보온통에 얼음 조각을 넣어 냉 스트레스 환경을 만들었으며, 적어도 물에 떠 있는 얼음 조각이

1개 이상 남아 있도록 하여 상기 온도를 유지하였다. 또한 온 스트레스 검사는 37.0±1.4°C의 물에 발을 담그고 냉 스트레스와 동일한 방법으로 시행하였다.

냉 스트레스 검사와 온 스트레스 검사 동안의 간격은 1일로 하였으며 하루 중 일정 시각인 오전 11시에 시행하였다. 대상자 모두에게서 적외선 체열 촬영을 통해 좌우 손등의 온도를 5분 간격으로 총 30분간 측정하여 온도 변화 추이를 살펴보고, 시간별 및 개인별 오차를 최대한 줄이기 위해 시작 시 손등 온도에 대한 30분 시 손등 온도의 비율(30T/OT)을 계산하였다.

3) 통계 처리

각각의 손등에서 시간에 따른 체표 온도의 변화 및 좌우 손등간의 온도 차이를 비교하기 위해서 SPSS version 8.0의 Wilcoxon signed ranks test를 이용하였으며, $p < 0.05$ 를 유의한 수준으로 채택하였다. 시간에 따른 온도 변화 양상의 분석은 시작 시와 5분, 5분과 10분, 10분과 15분, 15분과 20분, 20분과 25분 및 25분과 30분의 손등의 체표 온도를 각각 Wilcoxon signed ranks test를 통해 비교하였고, 총 30분까지의 온도 변화 추이를 분석하기 위해 Bonferroni 방법으로 p value를 보정하였다.

결 과

1) 냉 스트레스 검사 결과

냉 스트레스 자극 전에 좌우 손등의 체표 온도는 각각 28.48°C 및 28.48°C이었으며, 자극 5분 후에는 27.82°C 및 27.80°C, 자극 10분 후에는 27.35°C 및 27.34°C, 자극 15분 후에는 27.02°C 및 27.00°C, 자극 20분 후에는 26.56°C 및 26.56°C, 자극 25분 후에는 26.28°C 및 26.22°C, 자극 30분

Table 1. Temperature of the Dorsal Hands in Cold Stress DITI¹⁾ Test for a 30-minute Session in Normal Healthy Subjects

Normal healthy subjects (n=15)		
	Rt. dorsal hand (°C)	Lt. dorsal hand (°C)
0 min.	28.48±4.47	28.48±1.72
5 min.*	27.80±1.82	27.82±1.79
10 min.*	27.34±1.86	27.35±1.77
15 min.*	27.00±1.82	27.02±1.79
20 min.*	26.56±1.76	26.56±1.72
25 min.*	26.22±1.66	26.28±1.62
30 min.*	25.86±1.62	25.82±1.61

Values are mean±standard deviation.

1. DITI: Digital infrared thermal imaging

* $P < 0.05$, compared between the instantaneous periods

Table 2. Temperature of the Dorsal Hands in Warm Stress DITI¹⁾ Test for a 30-minute Session in Normal Healthy Subjects

Normal healthy subjects (n=15)		
	Rt. dorsal hand (°C)	Lt. dorsal hand (°C)
0 min.	27.95±1.82	28.04±1.85
5 min.*	29.60±2.04	29.44±2.12
10 min.	29.74±1.85	29.66±1.84
15 min.	29.59±1.78	29.54±1.77
20 min.	29.50±1.73	29.44±1.74
25 min.	29.30±1.71	29.25±1.77
30 min.	29.19±1.71	29.13±1.75

Values are mean±standard deviation.

1. DITI: Digital infrared thermal imaging

* $P < 0.05$, compared between 0 min. and 5 min.

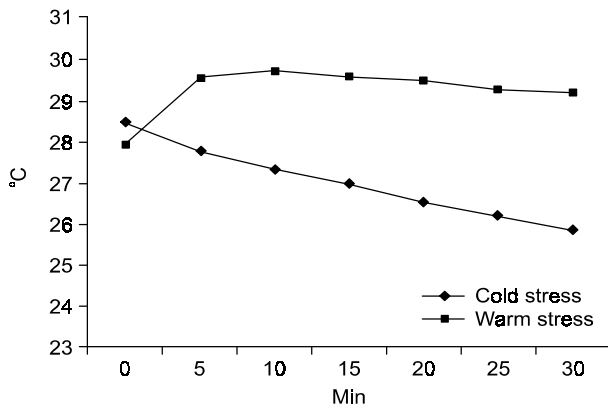


Fig. 1. Temperature changes of Rt. dorsal hand in cold and warm stress DITI test for a 30-minutes session.

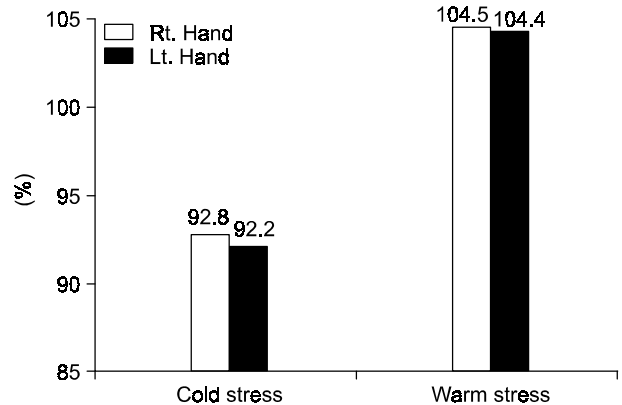


Fig. 2. The 30T/OT ratio (%) of the dorsal hands in cold and warm stress DITI test in normal healthy subjects. DITI: Digital infrared thermal imaging. $p > 0.05$, compared between Rt. and Lt. side.

후에는 25.82°C 및 25.86°C로 양측 손등 온도 모두에서 통계학적으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$)(Table 1)(Fig. 1).

좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 $92.2 \pm 2.65\%$ 및 $92.8 \pm 2.37\%$ 이었으며, 좌우 손등의 체표 온도와 30T/OT (%)는 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

2) 온 스트레스 검사 결과

온 스트레스 자극 전에 좌우 손등의 체표 온도는 각각 28.04°C 및 27.95°C이었고, 자극 5분 후에는 29.44°C 및 29.60°C로 통계학적으로 유의하게 상승되었으며($p < 0.05$), 자극 10분 후에는 29.66°C 및 29.74°C로 자극 5분 후와 비교 시 손등 온도가 상승하는 경향을 보였다. 그러나 온 스트레스 자극 10분 이후부터 손등의 체표 온도는 통계학적으로 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 2)(Fig. 1).

좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 $104.4 \pm 2.02\%$ 및 $104.5 \pm 1.77\%$ 이었으며, 좌우 손등의 체표 온도와 30T/OT (%)는 냉 스트레스 검사와 마찬가지로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

고 찰

교감신경 기능을 평가하는 방법으로 혈류량 측정법, 체온 측정법, 전기적 피부저항법 등이 있으며, 최근에는 컴퓨터 적외선 체열 촬영, 교감신경 피부반응(sympathetic skin response), 심박변동(heart rate variability) 등을 분석하여 교감신경계를 평가하고자 시도하고 있다.^{3-5,9,15,18,20} 이 중 교감신경성 혈관운동 활동도를 측정하는 적외선 체열촬영은 인체에서 방출된 적외선 에너지를 감지기가 측정하여 일정한 온도 차이에 따라 색을 달리하여 나타나는 영상을 통해 특정부위 체표면의 온도를 정량화하여 측정할 수 있는 방법이다. 이는 환자가 비교적 편안히 검사를 받을 수 있는 비침

습적인 검사로서 자율신경계 질환, 말초신경계 손상, 혈관계 질환, 유방 질환, 편마비 후 건관절 수부 증후군 및 악성 종양 등의 진단에 보조적인 도구로 널리 사용되고 있다.³⁾

체온은 시상하부에서 음성적 되먹이기 회로에 의해 조절되므로, 시상하부는 자율신경계를 조절하는 중요한 구심점이 된다고 알려져 있다.⁷⁾ 시상하부 내에 존재하는 체온수용기들은 감지된 체내의 조절점(set-point)을 상호 비교함으로써 지속적으로 체온을 조절하게 된다. 체온 설정은 저녁에 비해 아침이 낮게 되어 있으며 이는 월경 주기나 발열 유무에 따라 달라질 수 있다.⁷⁾ 이와 같이 절대 체온은 시간에 따라 다양하게 변하고, 외부 온도에 따라서도 변하며 부위별, 개인별로 차이를 보이게 되므로, 체표면의 절대온도는 적외선 체열촬영 검사상의 진단적 기준으로 사용하기에는 신뢰성에서 많은 문제점이 있다.^{14,23)} 따라서 적외선 체열촬영시 진단적 기준으로 사용되고 있는 방법으로 양측 체표면의 온도 차이를 측정할 수 있다. 정상인에 있어서 양측의 온도는 대칭적 분포를 이룬다고 알려져 있으며, 비정상적인 좌우의 온도의 차이에 대한 기준은 문헌마다 다양하다. 즉, Feldman 및 Nickoloff¹⁰⁾는 좌우 양측의 온도 차이가 0.3°C 이상, Harper 등¹¹⁾은 1.0°C 이상인 경우 비정상적인 것으로 다양하게 보고하고 있으며, 국내의 연구에서도 박 등¹⁾이 0.6°C 이상, 안 등²⁾이 0.3°C 이상으로 매우 다양하다. 그러나 진단적 기준이 되는 이러한 온도의 차이를 어떻게 규정하느냐에 따라 적외선 체열촬영 검사가 각 질환을 진단해 내는 감수성이 달라지게 되는 문제점이 있다. 또한 좌우의 온도차이를 기준으로 한 진단방법은 편측의 병변의 유무를 진단하는 데는 유용하게 사용될 수는 있으나, 양측성 병변이 있는 경우 그 진단적 가치에 제한점이 있게 된다.³⁾

이와 같이 교감신경성 혈관운동의 기능을 효과적으로 평가할 수 있는 방법에 제한이 있다는 한계점에서 냉 스트레스 자극법을 이용하기 시작하였다. 즉, 찬물에 신체를 담근

후 일어나는 신체의 반응을 연구하였는데 말초신경 분포가 정상적인 경우 처음에는 포피의 혈관수축 반응을 초래하고, 이후 심박수 및 혈압의 증가를 초래한다고 하였다.²⁵⁾ 또한 Steven 등²²⁾은 냉 자극이 교감신경계의 흥분도를 높여주어 정상인과 환자들간의 자율신경 기능의 차이를 더 크게 하여, 냉 스트레스 자극법이 기존의 컴퓨터 적외선 체열 촬영보다 전관절 수부 증후군의 진단 시 민감도와 특이도를 증가시킨다고 보고하였으며, 특히 비정상적인 혈관 운동성 증상을 보이는 환자에서 더욱 유용하게 사용할 수 있다고 하였다.

Castellani 등⁷⁾은 냉 스트레스 자극을 가한 후 체온의 변화는 하루 중 시간에 따른 차이를 보이지 않는다고 보고하였다. 따라서 냉 자극에 대한 체온의 변화는 절대 온도에 비하여 비교적 안정된 반응으로 생각되며, 양측성 병변인 경우에도 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다. 즉, 냉 스트레스 자극 후의 체온 변화는 하루 중 시간에 따른 차이를 보이지 않으므로 절대 체온의 변화를 관찰하는 것보다는 좀 더 객관적인 진단 기준으로 사용될 수 있다.

교감신경계 활동도는 신체가 냉 환경에 노출될 때 현저하게 증가된다. Urematsu 등²⁵⁾은 찬물에 침수한 상태나 초기 냉 환경에 노출 시 혈중 노르에피네프린 수치는 5~10배 정도 증가하며, 차가운 정도가 덜할수록 혈중 카테콜라민치가 적게 증가하였다고 한다.^{6,13)} Huskisson 등¹²⁾은 교감신경계는 대개 아드레날린을 분비하여 혈관수축을 일으키나 일부 교감신경의 콜린성 섬유는 아세틸콜린을 분비하여 혈관 확장과 발한 작용에도 관여한다고 보고하였다. 이러한 체온조절 체계는 해부학적으로, 생리학적으로 대칭을 이루는 것으로 알려져 있으며,²⁴⁾ 정상 성인에서 체표면의 온도차가 가장 큰 부위가 수지 및 족지부이나, 이러한 온도차가 신체의 대칭 부위별로 매우 안정되어 있다고 하였다.^{7,19)} 보고마다 다소 차이가 있으나, McLeod 등¹⁷⁾과 Harper 등¹¹⁾은 정상인에서의 최대 좌우 온도차를 1.0°C로 정의하였으며, 본 연구에서도 이와 마찬가지로 비정상적인 좌우 온도차를 1.0°C 이상으로 정의하였는데, 본 검사 결과 좌우 손등의 온도차가 모두 정상범주였다.

Uematsu 등²⁵⁾은 냉 스트레스를 주고난 첫 15분 동안은 체온의 증가가 있었고 그 이후부터 점차적인 체온의 감소가 있었다고 하였다. 이는 본 연구와 다른 결과를 보였는데, 냉 스트레스 자극을 주는 찬물의 온도가 10.7±3.3°C로 본 연구에 비해 낮아 심부온도가 더 빨리 떨어졌을 것으로 생각되며, 자극하는 동안 대부분의 대상자에서 호소한 통증과 이로 인한 근육수축 등으로 오차 개입의 가능성이 있었다. 반면, 본 연구에서는 찬물의 온도가 Uematsu 등²⁵⁾의 연구보다 약간 더 높은 12.0±1.4°C로 시행하여 대상자에서 모두 통증을 호소한 경우가 없었으며, 따라서 오차 개입을 배제할 수 있었다. 냉 스트레스 검사 결과 좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 92.2±2.65% 및 92.8±2.37%이었으며, 각각의

손등에서 30분까지 온도의 감소는 모두 통계학적으로 유의하였다. 냉 스트레스를 주었을 때 이와 같은 피부 온도의 저하는 시상하부핵의 조절하에 피부의 혈관수축 결과로 생각될 수 있으며, 이러한 교감신경계의 조절을 통해서 열손실을 줄이고 피하조직의 절연기능을 증폭시킬 수 있을 것으로 생각된다.¹⁹⁾

반면, 온 스트레스를 주어 교감신경계 기능을 평가한 기존의 연구는 냉 스트레스 검사에 비해 많지 않으며,^{5,25)} 본 연구의 결과 좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 104.4±2.02%, 104.5±1.77%로 시작 시 손등의 온도보다 30분 후 온도가 높았지만 첫 5분에만 온도의 상승이 통계학적으로 유의하였으며, 5분에서 10분까지는 온도가 상승하는 경향을 보였다. 그러나 자극 10분 후부터 30분까지는 통계학적으로 유의한 온도 변화를 보이지 않았다. 온 스트레스 자극을 주었을 때 피부온도의 상승 반응은 시상하부핵의 조절 하에 피부의 혈관확장과 발한과 같은 열손실이 유도되는 과정의 반응이라고 생각되며, 10분 이후에 피부온도의 유의한 변화가 없는 이유는 외부 스트레스에 대해 몸의 방어체계를 작동해서 항상성을 유지해 나가는 일련의 반응으로 생각된다.

본 연구에서는 우측 발에 냉 또는 온 스트레스 자극을 주고 양측 손등의 온도를 측정하는 방법으로 자극 부위와 측정 부위를 서로 달리 하였는데, 이는 증발력이나 직접적인 피부자극과는 무관하게 피부 온도를 측정하기 위해서 고려되었고,²⁵⁾ 체온 측정부위를 심장높이로 유지하여 율혈에 의한 오차를 고려하였다.⁸⁾ 본 연구는 생리학적인 이론들을 근거로 하였기에 자율신경계 질환, 말초신경계 손상, 혈관계 질환, 유방 질환, 편마비 후 전관절 수부 증후군 및 악성 종양 등과 같은 특정 질환에서 교감신경 기능부전 여부를 확인하려고 할 때 상대적인 비교치로 이용하거나 교감신경 기능부전의 정도가 미미할 때 냉 또는 온 스트레스 자극을 줌으로써 자율신경의 기능 차이를 극대화하여 진단의 민감도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

결 론

본원 재활의학과에서는 2000년 3월부터 5월까지 총 15명의 정상 성인을 대상으로 스트레스 적외선 체열 촬영을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 냉 스트레스 검사 결과 좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 92.2±2.65%, 92.8±2.37%이었으며, 각각의 손등에서 5분 간격으로 모두 통계학적으로 유의하게 체표 온도가 감소하였다($p<0.05$).

2) 온 스트레스 검사 결과 좌우 손등의 30T/OT (%)는 각각 104.4±2.02%, 104.5±1.77%이었으며, 각각의 손등에서 처음 5분 후에는 체표 온도가 통계학적으로 유의하게 상승되었으며($p<0.05$), 5분에서 10분까지 온도가 상승하는 경

향을 나타내었다. 그러나 자극 10분 후부터는 유의한 온도 변화가 없었다.

3) 냉 스트레스 및 온 스트레스 검사 결과, 양측 손등의 체표 온도 및 30T/OT (%) 간에 통계학적으로 유의한 차이는 없었다.

이상의 결과로 보아 냉 스트레스 및 온 스트레스 자극을 이용한 적외선 체열 촬영 검사는 혈관운동성 교감신경계 기능을 평가하는 데 유용함을 알 수 있었고, 본 연구를 통해 정상인의 냉 환경과 온 환경에 대한 혈관운동성 교감신경계 반응을 고찰할 수 있었으며 객관적인 자료를 제공하는 데 매우 도움이 될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) 박기영, 전세일, 박창일, 임신영, 김애영, 신동배: 요추 추간관 탈출증의 척추 전산화 단층 촬영과 척수강 조영, 근전도 및 컴퓨터 적외선 체열촬영과의 비교. 대한재활의학회지 1993; 17: 42-50
- 2) 안상호, 전세일, 나은우, 박은숙: 편마비 후 견관절 수부 증후군에서 적외선 체열촬영 검사의 진단적 유용성. 대한재활의학회지 1994; 18: 457-467
- 3) 전세일, 박은숙, 이창현: 정상 성인에서 컴퓨터 적외선 체열 촬영 검사에 의한 체표 온도 측정. 대한재활의학회지 1995; 19: 425-430
- 4) 전중선, 전세일, 조정자, 진미령, 김래선, 김덕용, 안 준, 정기삼, 신근수, 이명호: 심박변동의 Power Spectrum 분석에 의한 정상 성인의 자율신경기능 평가. 대한재활의학회지 1997; 21: 928-935
- 5) Andreas K, Charles M, Klaus WB: Fingertip temperature as an indicator for sympathetic responses. Int J Psychophysiol 1998; 29: 35-41
- 6) Bergh U, Hartley Y, Landsbery L, Ekblom B: Plasma norepinephrine concentration during submaximal and maximal exercise at lowered skin and core temperature. Acta Physiol Scand 1979; 106: 383-384
- 7) Castellani JW, Young AJ, Kain JE, Sawka MN: Thermoregulatory response to cold water at different times of day. J Appl Physiol 1999; 87: 243-246
- 8) Cooke ED, Glick EN, Bowcock SA, Smith RE, Ward C, Almond NE: Reflex sympathetic dystrophy (Algoneurodystrophy): Temperature studies in the upper limb. Br J Rheumatol 1989; 28: 399-403
- 9) Elam M, Wallin BG: Skin blood flow responses to mental stress in man depend on body temperature. Acta Physiol Scand 1987; 129: 429-431
- 10) Feldman F, Nickoloff EL: Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities. Skeletal Radiol 1984; 12: 235-249
- 11) Harper CM, Low PA, Fealey RD, Chelimsky TC, Proper CJ, Gillen DA: Utility of thermography in the diagnosis of lumbosacral radiculopathy. Neurology 1991; 41: 1010-1014
- 12) Huskisson EC: Measurement of pain. Lancet 1974; 9: 1127-1130
- 13) Jones SB, Musacchia XJ: Norepinephrine turnover in heart and spleen of 7, 22 and 34°C-acclimatized hamsters. Am J Physiol 1976; 230: 564-568
- 14) John WC, Andrew JY, James EK, Michael NS: Thermoregulatory responses to cold water at different times of day. J Appl Physiol 1999; 87: 243-246
- 15) Krogstad AL, Elam M, Karlsson T, Wallin BG: Arteriovenous anastomoses and the thermoregulatory shift between cutaneous vasoconstrictor and vasodilator reflexes. J Auton Nerv Syst 1995; 53: 215-222
- 16) Lavallo W: The cold pressor test and autonomic function: a review and integration: a review and integration. Psychophysiology 1975; 12: 268-282
- 17) McLeod JG, Tuck RR: Disorder of the autonomic nervous system. Ann Neurol 1987; 21: 419-430
- 18) Niakan E, Harati Y: Sympathetic skin response in diabetic peripheral neuropathy. Muscle Nerve 1988; 2: 261-264
- 19) Raven PB, Nikki T, Dahms TE, Horvath SM: Compensatory cardiovascular responses during an environmental cold stress, 5°C. J Appl Physiol 1970; 29: 417-421
- 20) Richer CP: Physiological factors involved in the electrical resistances of the skin. Am J Physiol 1929; 88: 596
- 21) Stephen B, Timothy RL, Heather N, Olga I: Validation of thermography in the diagnosis of reflex sympathetic dystrophy. Clin J Pain 1996; 12: 316-325
- 22) Steven JG, Timothy DC, Judy L, Bruce L, Rick SS, Neil R, Goldman LB: Stress infrared telethermography is useful in the diagnosis of complex regional pain syndrome, type 1 (Formerly Reflex Sympathetic Dystrophy). Clin J Pain 1997; 13: 50-59
- 23) Uematsu S: Thermographic imaging of cutaneous sensory segment in patients with peripheral nerve injury. J Neurosurg 1985; 62: 716-720
- 24) Uematsu S, Edwin DH, Jankel WR, Kozikowski J, Trattner M: Quantification of thermal asymmetry. Part 1: Normal values and reproducibility. J Neurosurg 1988; 69: 552-555
- 25) Uematsu S, Jankel WR: Skin temperature response of the foot to cold stress of the hand: a test to evaluate somatosympathetic response. Thermology 1988; 3: 41-49